N° 11. **H. Woker** und **K. Wuhrmann,** Zürich. — Die Reaktion der Bachfauna auf Gewässervergiftungen.

(Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der E.T.H. Direktor: Professor Dr. O. Jaag [1].)

Jedem Gewässer ist eine typische Biocoenose als Folge einer Reihe bestimmender oekologischer Faktoren zu eigen. Von wesentlichem Einfluss ist dabei die chemische Zusammensetzung des Wassers. Veränderungen im Gewässerchemismus werden, wenn sie langfristig auftreten, mit entsprechend langsamer Umgestaltung der Biocoenose beantwortet. Kurzfristige und einmalige Abweichungen dagegen, bleiben im allgemeinen ohne sichtbaren Einfluss auf das Leben im Wasser, es sei denn, es handle sich um plötzliche, akute Giftwirkungen, welche zum Tode eines mehr oder weniger grossen Teils der Organismen führen. Doch selbst Eingriffe dieser Art, welche den Ausfall eines bestimmtem Teils der Glieder einer Lebensgemeinschaft zur Folge haben, werden, wie die Beobachtung zeigt, mit der Zeit wieder ausgeheilt bis zur völligen Wiederherstellung des ursprünglichen Oekotyps.

Die „Wiederbelebung" eines durch Giftstoffe geschädigten Wasserlaufes erfolgt durch aktive und passive Einwanderung der Organismen, durch Neubeginn von Entwicklungszyklen, sowie durch frische Auskeimung und Sprossung. Das Tempo und die Intensität, mit denen solche Prozesse vor sich gehen, sind abhängig von der Jahreszeit, morphologischen und hydrologischen Verhältnissen und von den physikalisch-chemischen Gegebenheiten des betreffenden Wassers.

Die in der Folge von Gewässervergiftungen auftretenden Verödungen spielen vor allem bei gleichzeitig mit dem Ereignis einhergegangenen Fischsterben eine gewisse Rolle bei der Ermittlung des Schadenmasses. Die betroffenen Inhaber der Fischereirechte machen oft geltend, dass ein vergiftetes Gewässer für mehrere Jahre als Fischwasser wertlos geworden sei. Demgegenüber steht jedoch die erstaunliche Feststellung, dass nicht selten in ver-

[1] 11. Mitteilung « Zur Toxikologie der Fische » aus der E.A.W.A.G.

gifteten Bächen schon verhältnismässig kurze Zeit nach dem Ereignis wieder eine reiche Fauna und Flora angetroffen werden kann. Die offensichtliche Ungewissheit über den Ablauf einer Gewässervergiftung und die Art und Weise der Wiederbesiedlung, veranlassten uns, anhand einer „Modellbachvergiftung" näheren Einblick zu nehmen.

Die Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich [1] stellte uns für diesen Versuch, welcher in Mai 1956 zur Durchführung gelangte, im zürcherischen Furttal den zwischen Buchs und Dällikon gelegenen Krümbelgraben zur Verfügung. Dieses Wiesenbächlein ist ein offener, gerader, über rund 300 m in Ost-Westrichtung verlaufender Drainagevorfluter. Das Gerinne, eingebettet in einen V-förmigen Geländeeinschnitt von 3,5 bis 4 m Tiefe, ist durchwegs 55 cm breit, weist seitliche Rundholzwuhrung auf und Natursohle. Die Wasserführung betrug zur Zeit unseres Versuches im Mittel 40 Minutenliter, die Wassertiefe 15 bis 20 cm. Die südliche Böschung ist auf der ganzen Länge mit schattenspendendem Buschwerk bestockt. Die Versuchsstrecke, welche mit rund 180 m Länge nur einen Teil des ganzen Grabensystems einnahm, mündet in ein kleines Tosbecken.

Der Krümbelgraben wird von zwei Drainageleitungen gespiesen. Sein Wasser ist schwach mit Nährstoffen beladen (Sulfat: 23,8 mg SO_4''/l; Gesamt-N: 3,0 mg/l; Phosphat: 0,01 mg P/l; El. Leitfähigkeit: 505 $cm^{-1}\Omega^{-1}10^{-6}$; Gesamthärte: 35,5 frz.H°; Oxydierbarkeit: 4,8 mg $KMnO_4$/l) und erhält vermutlich einen Zuschuss von häuslichem Abwasser. Seine Biocoenose ist oligo- bis leicht mesosaprob. Die tierische Besiedlung wird dementsprechend dominiert von Ephemeriden, Chironomiden (Orthocladiinen, Tanypodinen), Gammarus, aber auch von Tubifex, ferner sind Egel und Planarien reichlich vorhanden.

Der Krümbelgraben wird von der kantonalen Fischereiverwaltung als Aufzuchtgewässer für Forellen benutzt. Das bedeutet, dass in jedem Frühjahr Brut eingesetzt wird, und die Fischchen im darauffolgenden Herbst mittels Elektrogerät wieder herausgefangen werden. Zur Zeit unseres Experiments befanden sich im

[1] Dem zürcherischen Fischerei- und Jagdverwalter, Ing. E. Amman, der uns die Bewilligung zur Durchführung dieses Versuches erteilte, sei für seine tatkräftige Hilfe und Unterstützung auch an dieser Stelle der beste Dank ausgesprochen.

Versuchsabschnitt vom Vorjahre her noch ein rundes Dutzend Jährlinge und ausserdem einige Brutfischchen aus Naturverlaichung.

Als Gift diente **Chlor,** das aufgrund mehrerer Versuche gasförmig ins Bachwasser geleitet wurde. Für die Anwendung von Chlor, das ein eher seltenes Gewässergift ist, war dessen restlose Entgiftungsmöglichkeit massgebend. Aus einer 5 kg Chlorbombe, welche zur Kühlung im Wasser stand, wurde der Gasstrom über ein Flowmeter einem parallel geschalteten System von 10 quer ins Bachbett gehängten Glasfritten zugeleitet, durch welche er in feinen Perlen ins Wasser austrat. (Abb. 1). Das nicht in Lösung

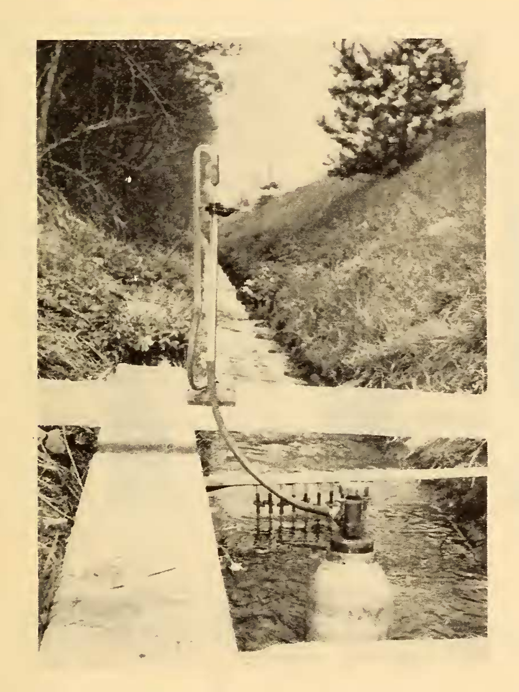


Abb. 1.
Krümbelgraben, die Einleitung von Chlorgas ins Bachwasser.

gehende Chlorgas entwich frei in die Atmosphäre. In einer Entfernung von 14, 60, 120 und 180 m unterhalb der Einleitungsstelle wurden alle Viertelstunden Wasserproben erhoben und unverzüglich titrimetrisch auf ihren Chlorgehalt analysiert. Die Zeit der Probenahmen an den einzelnen Stellen entsprach der Fliesszeit

der Giftwelle, welche mit Fluoresceïn-Färbung ermittelt worden war. Anhand der Analysen, wie auch der ständigen biologischen Kontrollen, liess sich die Giftdosierung im gewünschten Rahmen regulieren. Es gelang, den Chlorgehalt verhältnismässig konstant zu halten und es war eine gleichmässige Abnahme der im Wasser gelösten Chlormenge von ca. 2 mg pro 60 Meter Fliesstrecke festzustellen. Die mittlere Chlorkonzentration betrug während den ersten vier Stunden rund 7 mg/l bei einem Maximum von 10 mg beim vierzehnten und einem Minimum von 4 mg/l beim hundertachzigsten Laufmeter. In der letzten Versuchsstunde wurde die Dosis erhöht und betrug nun im Mittel 12 mg (Maximum 16,

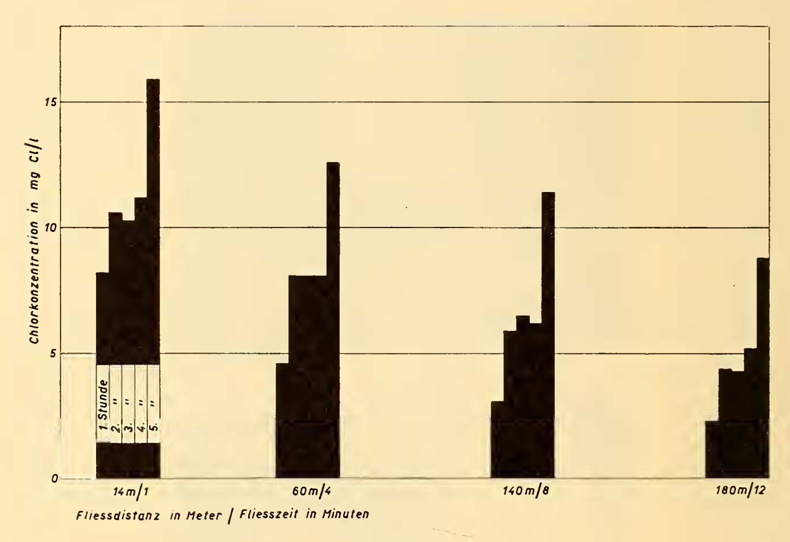


Abb. 2.

Abnahme der Cl-Konzentration im Wasser in Abhängigkeit von der Fliesstrecke, dargestellt in Stundenmitteln (4 Messungen pro Stunde).

Minimum 9 mg Cl/l) (Abb. 2). Die Giftwirkung wurde während genau fünf Stunden aufrecht erhalten.

Die Entgiftung erfolgte mit Na-Thiosulfatlösung, welche in stöchiometrisch berechneter Menge in feinem Strahl am unteren Ende der Versuchsstrecke beim Einfluss in das Tosbecken ins Wasser geleitet wurde. Die Aufenthaltszeit des Wassers im Tosbecken von ca. 5 Minuten und die darin herrschende Turbulenz führten zu einer restlosen Entgiftung, welche laufend durch qua-

litativen Farbtest mit Orthotolidin geprüft und überdies durch einen Forellensömmerling bewiesen wurde, der sich während des ganzen Versuchs unmittelbar unterhalb des Tosbeckens aufhielt.

Zur Kontrolle der oekologischen Verhältnisse dienten quantitative Aufnahmen der Fauna vor und nach der Vergiftung. Zu diesem Zwecke wurde das ganze Bachbett rund 8, 60, 120 und 180 Meter unterhalb der Chloreinleitungsstelle auf je einer Fläche von ca. 0,5 m^2 bis zu einer Tiefe von ca. 3 cm ausgeräumt und der ganze Bestand der am häufigsten vertretenen Tierarten (lebende und tote) ausgezählt. Diese Zählungen erfolgten am Tage vor, ferner am ersten, sechsten und vierzehnten Tag nach der Vergiftung.

Zehn bis fünfzehn Minuten nach Beginn der Chloreinleitung krochen überall entlang des vom Wasser überfluteten Gerinnes die Oligochaeten der Gattungen *Limnodrilus* und *Lumbriculus* in grossen Massen aus dem Boden und wurden bündelweise sterbend abgetrieben. In Hinterwassern und im Tosbecken sammelten sich bald ganze Klumpen von toten Würmern an. Sehr bald begannen auch Flohkrebse und die nicht im Schlamm oder vorzugsweise unter den Steinen lebenden Ephemeridenlarven wie *Baëtis*, und *Ephemerella* unruhig im Wasser herumzuschiessen, viele davon wurden von der Flut weggetragen. Mit Ausnahme der im Untergrund lebenden Oligochaeten, ferner der unter den Steinen und im dichten Bewuchs hausenden Ecdyonuriden-, Plecopteren- und Chironomidenlarven, waren es die frei umherschwimmenden, sowie die verhältnismässig ungebunden auf der Oberfläche des Grundbelages lebenden Organismen, welche zuerst von der Giftwelle erfasst wurden und ihr mehr oder weniger quantitativ zum Opfer fielen.

Nach rund 10 Minuten Einwirkungszeit erschienen die ersten taumelnden Forellenjährlinge. Die Fische kamen unruhig aus ihren Unterschlupfen hervor, verbargen sich wieder, kippten gelegentlich in Seitenlage und wurden zusehends matter. Sie konnten ohne weiteres von Hand gegriffen werden. Einzelne liessen sich apathisch bald kopf- und bald schwanzvoran vom Wasser eine Strecke weit mittragen, bis sie wieder irgendwo hängen blieben. Beim Verhalten der Fische waren typisch, die sehr intensive Atmung, gelegentliches Luftschnappen aber kein Springen. Die Unruhe steigerte sich nirgends zum krampfhaften Herumschiessen, sondern manifestierte sich in einem langsamen aber steten Hin und

Her. Man hatte niemals den Eindruck, dass die Fische vom Gift gereizt wurden, vor der Giftwelle auswichen, oder von ihr mitgerissen wurden, sondern vielmehr, dass sie sich nach allen Kräften bemühten, an Ort und Stelle im Wasser stehen zu bleiben. Tote und schwer geschädigte Forellen lagen nie weit von ihrem ursprünglichen Standplatz entfernt. Trotzdem einzelne Fische, sobald sie als geschädigt erkannt wurden, unverzüglich in Frischwasser mit zusätzlicher Belüftung mit reinem Sauerstoff umgesetzt wurden, wo sogar manche noch bis zu einer halben Stunde scheinbar ungeschädigt herumschwammen, verendeten sie ausnahmslos alle. Eine Erholung war in keinem Fall festzustellen, die Chlorschädigung ist offenbar irreversibel, was wir seither noch in weiteren Versuchen auch an Fischnährtieren beobachten konnten.

Dreiviertelstunden nach Vergiftungsbeginn krochen überall reichlich Egel *(Haemopis*, *Herpobdella*, *Glossiphonia)* herum und wurden sterbend abgetrieben. Nach anderthalb Stunden erreichte das Treiben toter oder sterbender Tiere im Wasser allmählich die grösste Dichte. Von Ephemerella und Baëtis fanden sich nur noch vereinzelte lebende Exemplare, dagegen schienen Ecdyonurus, ferner die grabende Ephemeridenlarve *Ephemera*, aber auch die Steinfliege Nemura noch durchwegs munter und vom Chlor nicht geschädigt zu sein. Ebenso waren Chironomiden und Trichopteren noch alle am Leben. Zwei Stunden nach Versuchsbeginn ergaben Stichproben bei 8, 60, 120 und 180 Metern, dass alle Oligochaeten mit Ausnahme der Tubificiden, ferner *Gammarus*,*Ephemerella*, *Baëtis* längs der ganzen Strecke tot waren. Dagegen lebten noch: die Tubificiden, der grösste Teil der Chironomiden, die Plecopteren, die Trichopteren, die Napfschnecke *Ancylus* und etwa die Hälfte der Egel. Bei weiteren Stichproben im Verlauf der nächsten drei Versuchsstunden tauchten jedoch immer wieder einzelne lebende Exemplare der zuerst getöteten Organismen auf. Die mittleren Absterbezeiten der einzelnen Tierarten stimmen, soweit wir dies bisher im Experiment geprüft haben, mit den hier gefundenen Werten überein. Nach Schluss des Giftabflusses und nachdem in der letzten Versuchsstunde die mittlere Chlordosis verdoppelt wurde, lebten noch überall Tubificiden, Chironomiden, Trichopteren, sowie die Ephemeriden: *Ephemera* und *Ecdyonurus*.

Die Kontrolle am Tage nach der Vergiftung ergab, dass der Bewuchs längs des Bachrandes verdorrt, die im Wasser flutenden

Grünalgen und die Fontinalisbestände gebleicht, die Beläge einzelliger Grünalgen auf den Steinen jedoch grün geblieben waren. Das Bachbett machte einen auffallend sauberen, ausgewaschenen Eindruck, wie dies gelegentlich nach Hochwassern der Fall ist. Überall lagen jedoch tote Würmer, Egel und Insektenlarven, wovon viele trotz der relativ tiefen Wassertemperatur von durchschnittlich 10° C schon stark verwest waren und das Treiben toter Tiere hielt immer noch an. Interessanterweise war nun aber auch der vorwiegende Teil der nach Versuchsabbruch noch lebenden Chironomiden, Trichopteren (von denen die gehäusetragenden aus den Köchern geschlüpft waren), ferner *Ecdyonurus* und *Ephemera*larven tot. Laborexperimente mit den genannten Tierarten ergaben tatsächlich eine erhöhte Chlorresistenz dieser auch im Feldversuch zuletzt abgetöteten Formen. Dabei sind die gehäusetragenden Trichopteren nicht etwa durch die geringe Wasserzirkulation im Köcher vor der Giftwirkung einigermassen geschützt, indem sich ergab, dass die Absterbezeit der Köcherfliegenlarven in- und ausserhalb ihrer Köcher dieselbe ist. Im Gegensatz zum Laborversuch hatten die Egel bei der Bachvergiftung auffallend wenig gelitten, fanden sich doch am Tage nach der Vergiftung in allen Proben wieder gleich viele lebende Exemplare wie vor dem Versuch. In völlig unerwarteter Weise erschienen auch trotz dem grossen Sterben am Vortage wieder sehr viele lebende Oligochaeten.

Zusammenfassend ergibt sich, dass die Fischnährtiere entsprechend ihrer individuellen Resistenz gegenüber dem Giftstoff, diesem in gleicher Weise erliegen wie die Fische und dass der gleichzeitige Ausfall der Nährtierfauna bei einem Fischsterben, dessen Ursache eine Gewässervergiftung ist, bei der Beurteilung des Schadens unbedingt in Betracht gezogen werden muss.

Die Probenahmen am sechsten und vierzehnten Tage nach der Vergiftung dienten der Beobachtung der **Wiederbesiedlung.** Diese konnte, soweit es sich um Einwanderung handelte, praktisch nur vom Oberlauf her erfolgen, da das Tosbecken und ein kleiner Absturz am unteren Ende der Versuchsstrecke den Zugang von dieser Seite her stark erschwerten. Die Entvölkerung, beziehungsweise Wiederbesiedlung der vergifteten Bachstrecke ist in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Tabelle 1 zeigt, dass sich allen voran der Chironomidenbestand offenbar rasch und gut erholte. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass nach der Vergiftung hauptsächlich

TABELLE 1.

Krümbelgraben, Anzahl überlebender Tiere pro m²
(ohne oberste Kontrollstrecke).

		Individuen/m²			
		Vorher	Tage nach Vergiftung		
			1	6	14
Würmer	*Planaria, Lumbriculus, Limnodrilus, Tubifex, Gordius*	(36)	(142)	(42)	(81)
Egel	*Glossiphonia, Herpobdella, Haemopis*	16	15	14	9
Flohkrebse	*Gammarus pulex*	39	1	2	1
Steinfliegen	*Nemura*	14	3	1	2
Eintagsfliegen	*Ephemera*	76	63	29	33
	Ecdyonurus, Ephemerella, Baëtis, Habrophlebia	200	1	1	1
Köcherfliegen	*Rhyacophila, Limnophilus, Anabolia, Sericostoma*	44	26	37	16
Zuckmücken	Orthocladiinen, Tanypodinen	290	48	39	312
Käfer	*Elmis, Haliplus, Agabus*	7	3	8	6
Schnecken	*Ancylus*	19	0	0	0
	Total (ohne Würmer)	705	159	129	377

TABELLE 2.

Krümbelgraben, Wiederbesiedelung nach Cl-Vergiftung.

Kontrollstellen	Vergiftung		Individuen pro m²			
	Dauer Std	mg Cl_2/l	vorher	Tage nach Vergiftung		
				1	6	14
I. 8 m	5	10,4	150	66	199	294
II. 60 m	5	8,1	219	51	34	196
III. 120 m	5	6,0	299	73	53	144
IV. 180 m	5	4,5	191	45	54	75
Total . . .			859	235	340	709

sehr junge Larven in grösserer Zahl gefunden wurden, welche vermutlich erst nach dem Versuch geschlüpft waren. Betrachtet man die Totalzahlen in Tabelle 2, so möchte man annehmen, dass schon zwei Wochen nach dem Ereignis der ursprüngliche Zustand annähernd wiederhergestellt war. Dies kommt jedoch daher, wie Tabelle 2 überdies zeigt, dass hauptsächlich die oberste Kontrollstrecke schon 6 Tage nach der Vergiftung wieder gut besiedelt war. Es liess sich hier tatsächlich schon am Tage nach der Vergiftung eine merkliche Zuwanderung vor allem der frei herumschwimmenden Organismen, wie *Gammarus*, *Ephemerella* und *Baëtis* feststellen. Ähnliches gilt auch für die Chironomiden und die Trichopteren *Limnophilus* und *Anabolia*. Somit erscheinen also in einem Fliesswasser und zwar durch Einwanderung, sofern von der Schädigung verschonte Zuflüsse vorhanden sind, zuerst wieder diejenigen Formen, welche auch unter normalen Verhältnissen verhältnismässig oft und leicht ihren Standort wechseln. Nachteiliger wirkte sich die Vergiftung auf die weniger beweglichen, mehr ortsgebundenen Tiere aus. Diese werden wohl vornehmlich durch natürliche Vermehrung wieder ersetzt.

In den weiter bachabwärts liegenden Kontrollabschnitten geschah die Wiederbesiedlung erheblich langsamer und war nach vierzehn Tagen noch keineswegs beendet. Unsere Untersuchungen mussten nach dieser Zeit abgebrochen werden, weil der Bach wieder mit Forellenbrut bestockt wurde.

TABELLE 3.

Krümbelgraben, Ertragsstatistik der Bachforellensömmerung.
(Bachfläche 860 m², Zahlen der zürcherischen Fischerei- und Jagdverwaltung.)

Jahrgang	Einsatz		Aufzuchtdauer in Tagen	Sömmerlingsertrag		
	in Stk.	pro m²		in Stk.	pro m²	Aufzuchtsergebnis in %
1951	6000	7	112	1174	1,4	19,6
1952	8500	10	152	1375	1,6	16,2
1953	8500	10	232	825	0,96	9,7
1954	8500	10	183	642	0,75	7,6
1955	8000	9,4	201	1907	2,2	23,8
1956 [1]	7000	8,1	125	2180	2,5	31,2

[1] Jahr des Versuchs

Die Folgen der Vergiftung bestanden somit nach Ablauf von vierzehn Tagen in einer Verminderung der Gesamtzahl aller Organismen, dies besonders in dem der Einwanderung weniger gut zugänglichen unteren Versuchsabschnitt, sowie in einer qualitativen Verschiebung der Zusammensetzung der Fauna des geschädigten Biotops.

Zwei Wochen nach der Vergiftung, als durch unsere Untersuchungen feststand, dass eine genügende Nährfauna vorhanden war, wurde wiederum Forellen-Dottersackbrut eingesetzt. Tabelle 3 zeigt, dass sich aus dem Abfischungsergebnis im darauffolgenden Herbst, das aus Gründen, welche mit unserem Versuch in keinerlei Zusammenhang stehen, höher als all die Jahre zuvor war, nicht die geringste Beeinträchtigung des Sömmerungsertrages herauslesen lässt, auch waren die im Herbst gefangenen Fische normal gewachsen und kräftig. Dazu ist jedoch zu bemerken, dass diese Zahlen das Aufzuchtergebnis der vollen Länge des eine Fläche von 860 m^2 bedeckenden Krümbelgrabens wiedergeben, wovon unsere Versuchsstrecke nur rund 11% ausmachte. Daraus jedoch zu schliessen, dass das Gewässer als Fischwasser überhaupt nicht gelitten hatte, wäre aber falsch. Unser Versuch führte im Gegenteil zu einer erheblichen Verminderung der Ernährungsbasis der Fische. Diese Schädigung war aber zeitlich ziemlich eng begrenzt, denn unsere Beobachtungen zeigten, dass die Wiederbesiedlung sofort nach Abfluss der Giftwelle einsetzte.

Verallgemeinernd darf man deshalb wohl annehmen, dass die Folgen einer durch akute Vergiftung bewirkten Schädigung der Kleinfauna eines Fliessgewässers innerhalb verhältnismässig kurzer Zeit wieder verschwinden, soweit dies jahreszeitlich im Hinblick auf die Entwicklungszyklen der einzelnen Arten möglich ist. Die Behauptung, dass ein Gewässer durch eine Vergiftung wegen der Abtötung der Nährfauna auf Jahre hinaus „erledigt“ sei, wie dies in Fischerkreisen immer wieder zu hören ist, dürfte demnach zum mindesten für unsere Mittellandfliessgewässer deutlich widerlegt sein.